

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
23 octobre 2003 (23.10.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 03/088266 A2

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : G21D

(74) Mandataires : BOUGET, Lucien etc.; 2, place d'Estienne  
d'Orves, F-75441 Paris Cedex 09 (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR03/01091

(22) Date de dépôt international : 7 avril 2003 (07.04.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

02/04638 12 avril 2002 (12.04.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : FRAM-  
ATOME ANP [FR/FR]; Tour Areva, 1, place la Coupole,  
F-92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : LECOMTE,  
Michel [FR/FR]; 35, rue Camille Corot, F-92500 Rueil-  
Malmaison (FR).

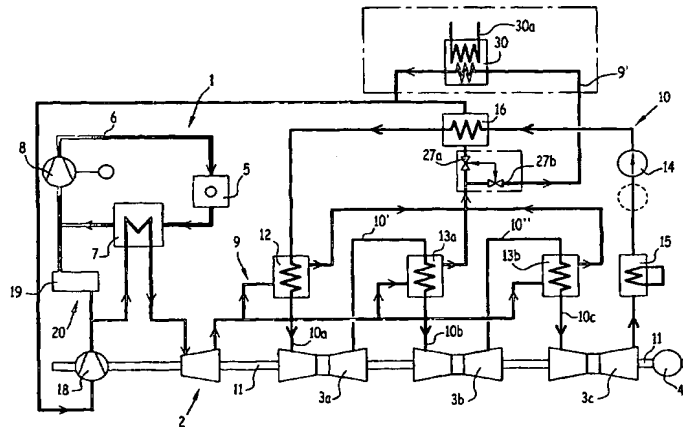
(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,  
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,  
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet  
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet  
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,  
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,  
TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICITY FROM THE HEAT PRODUCED IN THE  
CORE OF AT LEAST ONE HIGH-TEMPERATURE NUCLEAR REACTOR

(54) Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF DE PRODUCTION D'ELECTRICITE A PARTIR DE LA CHALEUR PRODUITE DANS  
LE COEUR D'AU MOINS UN REACTEUR NUCLEAIRE A HAUTE TEMPERATURE



(57) Abstract: A first heat-transfer gas is circulated in contact with the core (5) of the high-temperature nuclear reactor (1) in a closed circuit. A second thermal exchange gas is heated by exchange of heat with the first exchange gas or heat-transfer gas and the second thermal exchange gas, heated by the first heat-transfer gas in an intermediate exchanger (7) is used to drive at least one gas turbine coupled to an electrical generator (4). The first exchange gas principally comprises helium and the second exchange gas is substantially 50 % to 70 % helium and 50 % to 30 % nitrogen by volume. The second thermal exchange gas is circulated in a closed circuit such that the second thermal exchange gas guarantees the drive for at least one gas turbine (2). The device also preferably comprises a third circuit (10) in which circulate water and the steam formed by heating the water with a part of the second exchange fluid and used to drive steam turbines (3a, 3b, 3c) preferably arranged on the shaft of the electrical generator (4).

[Suite sur la page suivante]

**Publiée :**

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**(57) Abrégé :** On fait circuler un premier gaz caloporteur au contact du cœur (5) du réacteur nucléaire (1) à haute température, en circuit fermé, on chauffe un second gaz d'échange thermique par échange de chaleur avec le premier gaz d'échange ou gaz caloporteur et on utilise le second gaz d'échange thermique chauffé par le premier gaz caloporteur dans un échangeur intermédiaire (7), pour entraîner au moins une turbine à gaz (2) couplée une génératrice électrique (4). Le premier gaz d'échange est constitué principalement par de l'hélium et le second gaz d'échange renferme en volume substantiellement de 50 % à 70 % d'hélium et de 50 % à 30 % d'azote. On met en circulation le second gaz d'échange thermique en circuit fermé, de manière que le second gaz d'échange thermique assure au moins l'entraînement de l'au moins une turbine à gaz (2). De préférence, le dispositif comporte également un circuit tertiaire (10) dans lequel circule de l'eau et de la vapeur formée par échauffement d'eau à partir d'une fraction du second fluide d'échange et utilisée pour entraîner des turbines à vapeur (3a, 3b, 3c) montées, de préférence, sur l'arbre de la génératrice électrique (4).

**Procédé et dispositif de production d'électricité à partir de la chaleur  
produite dans le cœur d'au moins un réacteur nucléaire à haute  
température**

L'invention concerne un procédé et un dispositif de production d'électricité à partir de la chaleur produite dans le cœur d'au moins un réacteur nucléaire et en particulier d'un réacteur nucléaire à haute température.

On connaît des réacteurs nucléaires dont le fluide caloporteur est, dans le réacteur nucléaire en fonctionnement, à une température élevée (par exemple supérieure à 800°C), comparativement à la température du caloporteur de réacteurs de production d'électricité tels que les réacteurs PWR dont le caloporteur est à une température de l'ordre de 320°C.

De tels réacteurs à haute température sont refroidis par un fluide caloporteur qui est généralement un gaz tel que l'hélium qui présente de très bonnes caractéristiques d'échange thermique et qui est totalement inerte.

A la sortie du cœur du réacteur nucléaire, le gaz caloporteur est à une température sensiblement égale à la température du cœur, par exemple à une température de 850°C.

On a proposé dans certains procédés de production d'électricité, d'utiliser directement l'hélium échauffé au contact du cœur du réacteur nucléaire, pour entraîner une turbine à gaz couplée à un générateur d'électricité tel qu'un alternateur.

L'hélium utilisé pour l'entraînement de la turbine à gaz présente, à la sortie de la turbine, une pression sensiblement inférieure à la pression de l'hélium caloporteur utilisé pour le refroidissement du cœur du réacteur nucléaire. L'hélium récupéré à la sortie de la turbine doit donc être recomprimé avant d'être renvoyé à l'intérieur de la cuve du réacteur nucléaire pour assurer le refroidissement du cœur. On doit donc utiliser plusieurs étages de compresseurs basse pression et haute pression pour recomprimer l'hélium récupéré à la sortie de la turbine avant de le renvoyer dans la cuve du réacteur nucléaire au contact du cœur. De préférence, des échangeurs de chaleur doivent être également associés aux étages de compression de l'hélium pour régler la température de l'hélium, de manière à faire fonctionner les compresseurs avec des rendements énergétiques acceptables.

Dans de telles installations, les compresseurs qui sont entraînés par l'arbre de la turbine consomment une quantité d'énergie notable qui ne peut être transformée en électricité par l'alternateur, de sorte que le rendement global de l'installation est réduit d'autant.

5 De plus, un tel dispositif de production d'électricité à partir de la chaleur produite dans le cœur d'un réacteur nucléaire à haute température à cycle direct et utilisant l'hélium comme gaz caloporteur doit fonctionner en circuit totalement fermé et il est nécessaire de limiter au maximum les déperditions d'hélium sur le circuit fermé du dispositif de production d'électricité.

10 Il est nécessaire de concevoir une turbine et des compresseurs d'une technologie spécifique et peu habituelle du fait que le gaz d'entraînement de la turbine dont on assure la recompression dans les étages de compresseurs est un gaz léger ayant une forte capacité de diffusion. Il faut concevoir des paliers et des joints d'étanchéité de type particulier et des échangeurs de chaleur permettant d'abaisser la température à l'entrée des étages de compresseurs pour obtenir un meilleur rendement énergétique de ces compresseurs.

20 De manière générale, l'ensemble des éléments utilisés et en particulier la turbine et les compresseurs doivent être étudiés et conçus spécialement pour une utilisation dans un cycle direct avec l'hélium comme gaz de travail.

25 L'étude et la conception des différents éléments, et en particulier des turbines et compresseurs, s'avèrent d'autant plus coûteuses qu'on s'éloigne des techniques habituelles d'utilisation des turbines à gaz.

30 En outre, l'hélium utilisé pour l'entraînement de la turbine et qui est recomprimé dans les compresseurs constitue le fluide primaire caloporteur qui vient en contact avec les éléments du cœur du réacteur nucléaire, de sorte qu'il est susceptible de se charger en produits présentant une certaine activité. La turbine, les compresseurs, les échangeurs de chaleur et le générateur électrique doivent être disposés à l'intérieur d'une enceinte fermée de manière étanche qui est disposée à proximité de la cuve du réacteur nucléaire, de manière à assurer le passage de l'hélium caloporteur provenant

du cœur du réacteur nucléaire ou renvoyé dans le cœur et ainsi à confiner l'activité.

On a proposé des dispositifs de production d'électricité à partir d'un réacteur nucléaire à haute température refroidi par de l'hélium dans lesquels la turbine n'est pas entraînée par un gaz susceptible de renfermer des éléments activés au contact du cœur. Pour cela, on utilise un échangeur intermédiaire entre l'hélium caloporteur circulant au contact du cœur du réacteur nucléaire en circuit fermé et de l'hélium secondaire circulant également en circuit fermé et assurant l'entraînement de la turbine à gaz. Toutefois, dans un tel cycle à deux fluides utilisant de l'hélium primaire et de l'hélium secondaire, les inconvénients relatifs à la conception de la turbine et des compresseurs ainsi que des autres éléments de la partie secondaire du dispositif subsistent, du fait que le fluide secondaire est constitué par de l'hélium. En outre, il est nécessaire de concevoir un échangeur intermédiaire dans lequel circulent le fluide primaire et le fluide secondaire qui sont tous deux constitués par de l'hélium.

Par ailleurs, on connaît des installations de production d'énergie électrique comportant une turbine à gaz qui est entraînée par de l'air à très haute température et à haute pression.

L'air à très haute température et à haute pression qui assure l'entraînement de la turbine est produit dans une chambre de combustion dans laquelle on introduit de l'air comburant sous haute pression et un combustible qui peut être du gaz naturel. On obtient, à la sortie de la chambre de combustion, un mélange d'air et de gaz de combustion à très hautes pression et température, par exemple à 1300°C, qui renferme les produits de combustion tels que le CO<sub>2</sub>, le CO et des oxydes d'azote. On utilise, dans ce cas, une turbine à gaz à haute performance dont la conception et les matériaux constitutifs permettent le fonctionnement avec un gaz à très haute température. Une telle installation fonctionne en circuit ouvert, les gaz utilisés pour l'entraînement de la turbine et constitués principalement par de l'air étant renvoyés à l'atmosphère.

En effet, il faut introduire, dans la chambre de combustion, de l'air neuf renfermant une proportion suffisante d'oxygène pour permettre la combustion du gaz naturel.

5 Avant d'être rejeté à l'atmosphère, le gaz à haute température sortant de la turbine à gaz peut être envoyé dans un ou, successivement, dans plusieurs générateurs de vapeur ou échangeurs de chaleur alimentés en eau, en vapeur humide ou en eau supercritique, pour produire de la vapeur sèche qui permet l'entraînement d'une ou plusieurs turbines à vapeur.

10 Généralement, on utilise trois étages de turbine à haute, moyenne et basse pressions qui sont placés sur un même arbre que la turbine à gaz, pour entraîner le générateur électrique. La vapeur à la sortie de la turbine à vapeur à basse pression est envoyée dans un condenseur et l'eau condensée est recyclée dans la partie secondaire d'un générateur de vapeur fournissant de la vapeur à l'étage haute pression.

15 Une telle installation présente l'avantage de ne comporter que des composants de type classique, tels qu'une turbine à gaz entraînée par un gaz de combustion renfermant principalement de l'azote et des gaz de combustion et des turbines à vapeur qui sont des composants tout à fait classiques dans les installations de production d'électricité.

20 Toutefois, le rendement énergétique de telles installations n'est pas optimal, dans la mesure où les gaz rejetés à l'atmosphère renferment encore une quantité notable de chaleur qui n'est pas utilisée.

25 En outre, il semble difficile d'adapter une telle configuration à cycle ouvert dans le cas où la chaleur est produite dans le cœur d'un réacteur nucléaire à haute température.

30 Dans le GB-2.050.679, on propose un procédé et une installation d'utilisation de la chaleur fournie par un réacteur nucléaire refroidi par de l'hélium, mettant en œuvre un circuit secondaire disposé à l'extérieur du bâtiment de sécurité du réacteur nucléaire dans lequel on met en circulation un mélange gazeux constitué par de l'hélium et de l'azote qui est échauffé par l'hélium de refroidissement du réacteur nucléaire. Sur le circuit secondaire sont disposés une turbine à gaz, des refroidisseurs et des compresseurs dans lesquels le gaz secondaire circule en circuit fermé.

Le but de l'invention est donc de proposer un procédé de production d'électricité à partir de la chaleur produite dans le cœur d'au moins un réacteur nucléaire à haute température, consistant à faire circuler un premier gaz d'échange thermique caloporteur au contact du cœur du réacteur nucléaire, en circuit fermé, à échauffer un second gaz d'échange thermique par échange de chaleur avec le premier gaz d'échange thermique et à utiliser le second gaz d'échange thermique échauffé par le premier gaz d'échange thermique, pour entraîner au moins une turbine à gaz couplée à une génératrice électrique, ce procédé permettant d'obtenir un très bon rendement énergétique et d'utiliser des composants de type classique ne nécessitant pas d'étude de conception poussée.

Dans ce but, le premier gaz d'échange est constitué principalement par de l'hélium, le second gaz d'échange renferme en volume substantiellement de 50 % à 70 % d'hélium et de 50 % à 30 % d'azote, on met en circulation le second gaz d'échange thermique en circuit fermé, de manière que le second gaz d'échange thermique échauffé par le premier gaz d'échange thermique assure l'entraînement de l'au moins une turbine à gaz, et on récupère au moins une première partie de la chaleur du second gaz d'échange ayant traversé la turbine à gaz pour assurer l'échauffement et la vaporisation d'eau, dans au moins un générateur de vapeur, de manière à produire de la vapeur pour entraîner au moins une turbine à vapeur couplée à la génératrice électrique.

Il peut être avantageux de récupérer au moins une partie du second fluide d'échange thermique, par exemple à la sortie de la partie primaire du générateur de vapeur ou de la turbine à gaz, pour assurer un apport de chaleur à une installation annexe telle qu'un système de chauffage urbain ou une usine de dessalement d'eau de mer ou toute autre utilisation de chaleur industrielle.

Dans certains cas, on peut envisager d'utiliser une fraction du second fluide d'échange thermique échauffé à la température du premier fluide constituant le fluide caloporteur du réacteur nucléaire pour assurer une fonction nécessitant un gaz à très haute température, tel que la production d'hydrogène.

L'invention est également relative à une installation de production d'électricité mettant en œuvre le procédé suivant l'invention.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va décrire à titre d'exemple, en se référant aux figures jointes en annexe, un mode de réalisation d'une installation de production d'électricité et de chaleur mettant en œuvre le procédé selon l'invention.

La figure 1 est une vue schématique générale de l'ensemble de l'installation suivant l'invention.

La figure 2 est une vue schématique générale de l'ensemble d'une installation, suivant une variante de réalisation à deux réacteurs nucléaires.

L'installation représentée sur la figure 1 comporte principalement un réacteur nucléaire à haute température désigné de manière générale par le repère 1, une turbine à gaz 2, trois turbines à vapeur 3a, 3b, 3c et une génératrice électrique 4 constituée par un alternateur dont le rotor est monté sur un arbre d'entraînement 11 commun à la turbine à gaz 2 et aux trois étages de turbines à vapeur 3a, 3b et 3c.

Le réacteur nucléaire 1 comporte un cœur 5 produisant de la chaleur dont la température en fonctionnement peut être de l'ordre de 850°C, cette température pouvant être sensiblement supérieure et par exemple de l'ordre de 950°C dans le cas de certains types de réacteur nucléaire à haute température.

Le réacteur nucléaire 1 comporte de plus un circuit primaire 6 qui est un circuit fermé dans lequel circule de l'hélium caloporteur. Sur le circuit primaire 6 du réacteur nucléaire 1 est placé un échangeur intermédiaire 7 permettant d'échauffer un gaz d'échange thermique secondaire et de refroidir l'hélium circulant dans le circuit primaire et constituant le caloporteur du réacteur nucléaire.

Sur le circuit primaire 6 du réacteur nucléaire est également placée une pompe 8 destinée à assurer la circulation de l'hélium dans le circuit primaire et une légère compression de l'hélium qui est introduit dans le cœur 5 du réacteur nucléaire à une pression de l'ordre de 70 bars. L'hélium constituant le fluide caloporteur du réacteur nucléaire ne subit qu'une faible perte de pression à la traversée de l'échangeur intermédiaire 7, de sorte qu'on



peut utiliser une pompe de circulation d'hélium n'assurant qu'une faible élévation de pression au refoulement. Une telle pompe correspond à une technologie courante.

5 L'échangeur intermédiaire 7 assure un échange de chaleur entre le fluide primaire constitué par l'hélium sortant du cœur du réacteur 5 à une température voisine de 850°C qui est la température du cœur et un gaz d'échange thermique secondaire mis en circulation dans un circuit secondaire désigné de manière générale par le repère 9.

10 Selon l'invention, le gaz d'échange thermique secondaire circulant dans le circuit 9 est constitué principalement par un mélange d'hélium et d'azote ou encore un mélange d'hélium et d'air. Toutefois, il est préférable d'utiliser un mélange ne renfermant pratiquement que de l'hélium et de l'azote, de manière à supprimer ou à limiter des phénomènes d'oxydation dans le circuit secondaire. L'échangeur intermédiaire présente des caractéristiques adaptées à l'échange thermique entre le premier et le second gaz  
15 d'échange, dans les conditions de température et de pression résultant du fonctionnement de l'installation.

De manière générale, le second gaz d'échange constituant le fluide secondaire de l'installation renferme en volume substantiellement de 50 % à  
20 70 % d'hélium et de 50 % à 30 % d'azote.

Le circuit secondaire dans lequel circule le mélange d'hélium et d'azote est un circuit totalement fermé, le second gaz d'échange étant réintroduit dans l'échangeur intermédiaire pour être chauffé par le premier gaz d'échange constitué par l'hélium caloporteur du réacteur nucléaire, après  
25 avoir assuré l'entraînement de la turbine à gaz 2 et l'échauffement et la vaporisation de fluide tel que l'eau circulant dans un circuit tertiaire 10, ainsi que d'autres fonctions de chauffage qui seront décrites plus loin.

De manière typique, le mélange d'hélium et d'azote du second gaz d'échange est introduit dans l'échangeur intermédiaire à une température de  
30 300°C pour être chauffé jusqu'à une température de l'ordre de 800°C par le premier gaz d'échange constitué par l'hélium caloporteur qui entre à une température de l'ordre de 850°C dans l'échangeur intermédiaire 7 et sort de l'échangeur intermédiaire à une température de l'ordre de 350°C.

L'échangeur intermédiaire 7 fonctionne, comme il sera expliqué plus loin, pratiquement en équipression, le premier gaz d'échange et le second gaz d'échange étant à une même pression qui peut être, par exemple, voisine de 70 bars à l'entrée et à la sortie de l'échangeur intermédiaire 7.

5 Le second gaz d'échange à une température de l'ordre de 800°C et à une pression de l'ordre de 70 bars à la sortie de l'échangeur intermédiaire est envoyé à l'entrée de la turbine à gaz 2 dont le second gaz d'échange ou gaz secondaire assure l'entraînement en rotation. La partie tournante de la turbine à gaz 2 est fixée préférentiellement sur l'arbre tournant 11 commun à  
10 la turbine à gaz 2 et à trois turbines à vapeur 3a, 3b, 3c qui sont ainsi couplées au rotor de l'alternateur 4. On peut également envisager de fixer la partie tournante de la turbine à gaz sur un premier arbre d'entraînement d'un alternateur et les turbines à vapeur (généralement deux ou trois turbines) sur un second arbre d'entraînement d'un alternateur.

15 A la sortie de la turbine à gaz 2, le second gaz d'échange thermique présente une température de l'ordre de 600°C et une pression maximale de 50 bars, la pression pouvant être de préférence de l'ordre de 20 à 30 bars.

Afin de faciliter la compréhension de la figure 1, le circuit primaire 6, dans lequel circule de l'hélium qui est le fluide caloporteur du réacteur nucléaire 5, a été représenté en trait plein, les conduits du circuit secondaire 9  
20 dans lequel circule le mélange d'hélium et d'azote par un double trait et le circuit tertiaire 10, dans lequel circulent de l'eau et de la vapeur constituant le fluide tertiaire de l'installation, sous la forme d'un trait plein d'une épaisseur inférieure au trait plein utilisé pour la représentation du circuit primaire  
25 6.

A la sortie de la turbine à gaz 2, le second fluide d'échange dont la température est voisine de 600°C est récupéré par une canalisation du circuit secondaire 9 pour parvenir au générateur de vapeur 12 et aux échangeurs de chaleur réchauffeurs 13a et 13b intercalés sur des parties du circuit  
30 tertiaire 10 de l'installation dans lequel circule de l'eau et de la vapeur.

La canalisation du circuit secondaire 9 reliée à la sortie de la turbine à gaz 2 présente un embranchement relié à une partie primaire du générateur de vapeur 12 dont la partie secondaire schématisée sous la forme d'un ser-

pentin est alimentée en eau à échauffer et à vaporiser. Une seconde branche de la canalisation de sortie de la turbine est reliée par un second et un troisième embranchements respectifs à des échangeurs de chaleur réchauffeurs respectifs 13a et 13b.

5 Les embranchements de la canalisation reliée à la sortie de la turbine à gaz 2 sont réalisés de manière que la partie primaire du générateur de vapeur 12 reçoive jusqu'à 80 % en volume du second gaz d'échange thermique et les échangeurs de chaleur 13a et 13b, 20 % en volume du second gaz d'échange thermique.

10 De préférence, dans le cas (représenté sur la figure) d'une installation comportant trois étages de turbines à vapeur, le premier étage reçoit 74 % environ du gaz d'échange et les deux étages suivants, chacun 13 %, en volume. Dans le cas d'une installation qui ne comporte que deux étages de turbines à vapeur, le premier étage peut recevoir, de préférence, 70 % en  
15 volume du second gaz d'échange et le second étage 30 % en volume.

Une première partie de la chaleur du second gaz d'échange récupérée à la sortie de la turbine à gaz est ainsi utilisée dans le circuit tertiaire pour produire de la vapeur et entraîner des turbines à vapeur.

Le circuit tertiaire 10 comporte une partie principale reliée, d'une part,  
20 à l'entrée de la partie secondaire du générateur de vapeur 12 et, d'autre part, à la sortie d'un condenseur 15 lui-même relié à la sortie de la turbine à basse pression 3c pour assurer la condensation de la vapeur humide parvenant à la sortie de la turbine 3c. Au moins une pompe 14 assure la circulation d'eau dans la partie principale du circuit tertiaire d'eau et de vapeur 10  
25 de manière que l'eau prélevée dans le condenseur 15 et provenant de la condensation de la vapeur de la turbine 3c soit envoyée à l'entrée de la partie secondaire du générateur de vapeur 12.

On réalise, à l'intérieur du générateur de vapeur 12, un échange de chaleur entre le second gaz d'échange à une température pouvant varier  
30 entre 550 et 700°C du circuit secondaire 9, parvenant à l'entrée de la partie primaire du générateur de vapeur, avec l'eau d'alimentation de la partie secondaire de manière qu'à la sortie du générateur de vapeur on obtienne une vapeur sèche à une température de 500°C à 600°C. La vapeur sèche est

envoyée par une canalisation 10a dans la partie d'entrée de la turbine à vapeur à haute pression 3a.

On récupère à la sortie de la turbine à haute pression 3a, par une première conduite intermédiaire 10' du circuit tertiaire 10, de la vapeur humide qui est envoyée à l'entrée de l'échangeur de chaleur réchauffeur 13a qui reçoit un débit de second gaz d'échange à une température de 600°C. On réalise ainsi une surchauffe et un séchage de la vapeur humide pour obtenir une vapeur sèche à une température entre 500°C et 600°C et par exemple entre 520°C et 580°C.

La vapeur sèche récupérée à la sortie de l'échangeur de chaleur réchauffeur 13a est envoyée par une canalisation 10b dans la partie d'entrée de la turbine 3b à moyenne pression, de manière à assurer l'entraînement de la turbine. On récupère, à la sortie de la turbine à moyenne pression 3b, par une seconde conduite intermédiaire 10" du circuit tertiaire 10, une vapeur humide dont on assure la surchauffe et le séchage dans un échangeur de chaleur réchauffeur 13b, par échange de chaleur avec le second gaz d'échange du circuit secondaire 9 à une température de 550 à 700°C.

On obtient, en sortie de l'échangeur surchauffeur 13b, une vapeur sèche à une température de 500°C à 600°C et par exemple entre 520°C et 580°C qui est envoyée par une troisième canalisation d'alimentation en vapeur sèche 10c, à la partie d'entrée de la turbine à vapeur à basse pression 3c pour assurer son entraînement.

Comme indiqué plus haut, la vapeur est récupérée à la sortie de la turbine à vapeur basse pression 3c pour être envoyée au condenseur par une canalisation de la partie principale du circuit tertiaire 10 d'eau et de vapeur.

La vapeur et l'eau récupérées à la sortie de la turbine 3c à une température de l'ordre de 30°C à 35°C et à basse pression est condensée dans le condenseur sous la forme d'eau à une température de 25°C à 30°C qui est récupérée par la partie principale du circuit tertiaire 10 sur lequel est placé un échangeur de chaleur à contre-courant 16 dont la partie primaire reçoit en entrée le second gaz d'échange thermique circulant dans le circuit secondaire 9 prélevé à la sortie du générateur de vapeur 12 et des échan-

geurs réchauffeurs 13a et 13b par des canalisations du circuit secondaire qui sont raccordées à une canalisation commune d'alimentation de l'entrée de la partie primaire de l'échangeur de chaleur 16.

5 Le second gaz d'échange du circuit secondaire parvenant à l'entrée de la partie primaire de l'échangeur de chaleur 16 qui est par exemple du type à courants croisés ou à contre-courant est constitué par un mélange de gaz du circuit secondaire provenant, respectivement, du générateur de vapeur 12 et des échangeurs de chaleur 13a et 13b dont la température va de 160°C à 300°C.

10 Par échange de chaleur avec le gaz secondaire envoyé à l'entrée de l'échangeur de chaleur 16, l'eau à une température voisine de 30°C dont la pression peut être élevée à un niveau important par la pompe 14 parvenant dans la partie secondaire de l'échangeur 16 est échauffée jusqu'à une température de l'ordre de 200°C à 250°C.

15 L'eau réchauffée et portée en pression qui peut être à l'état supercritique est envoyée à l'entrée de la partie secondaire du générateur de vapeur 12 pour être vaporisée et surchauffée. Le circuit tertiaire dans lequel sont disposés le générateur de vapeur 12, les turbines à vapeur 3a, 3b et 3c et les échangeurs de chaleur réchauffeurs 13a, 13b fonctionne ainsi en circuit  
20 fermé.

Le second gaz d'échange thermique du circuit secondaire 9 qui est récupéré à la sortie de l'échangeur de chaleur à contre-courant 16 est renvoyé par une canalisation du circuit secondaire, dans la partie secondaire de l'échangeur de chaleur intermédiaire 7, après passage par un compresseur  
25 18 placé sur la conduite de retour du circuit secondaire vers l'échangeur de chaleur intermédiaire 7. Le compresseur 18 permet d'élever la pression du fluide d'échange du circuit secondaire jusqu'à un niveau sensiblement égal au niveau de pression dans le circuit primaire 1, c'est-à-dire jusqu'à environ 70 bars.

30 Du fait de la pression du fluide secondaire d'échange récupéré à la sortie de l'échangeur de chaleur 16, il suffit d'utiliser un compresseur ayant un taux de compression de 1,5 à 3.

Le compresseur 18 comporte une partie tournante qui peut être montée sur l'arbre 11 commun à la turbine à gaz 2, aux turbines à vapeur 3a, 3b et 3c et au rotor de l'alternateur 4.

5 La turbine à gaz 2 et les turbines à vapeur 3a, 3b et 3c qui sont toutes montées sur l'arbre 11 (ou éventuellement sur un premier et un second arbre, comme décrit plus haut) n'assurent donc que l'entraînement du compresseur 18, en plus de l'entraînement du rotor de l'alternateur 4. L'énergie prélevée par le compresseur 18 pour assurer la compression du fluide secondaire d'échange avec un taux de compression de 1,5 à 3 représente une  
10 faible proportion de l'énergie fournie par la turbine à gaz et les turbines à vapeur, de sorte que l'énergie reçue par l'alternateur 4 n'est que peu inférieure à l'énergie totale fournie par l'installation.

Le second gaz d'échange thermique du circuit secondaire est de plus échauffé par le compresseur jusqu'à une température de l'ordre de 300°C  
15 avant son entrée dans l'échangeur intermédiaire 7. Comme expliqué plus haut, à l'intérieur de l'échangeur intermédiaire 7, le second gaz d'échange constitué par un mélange d'hélium et d'azote est échauffé jusqu'à une température de l'ordre de 800°C, la pression du gaz secondaire d'échange étant de l'ordre de 70 bars.

20 Il est particulièrement avantageux de réaliser l'échangeur de chaleur intermédiaire 7 sous la forme d'un échangeur à plaques à contre-courant. Un tel échangeur à plaques peut être réalisé de manière à présenter un très bon coefficient d'échange du fait que le premier gaz d'échange thermique est constitué d'hélium et que le deuxième gaz d'échange thermique ren-  
25 ferme de fortes proportions d'hélium. Le coefficient d'échange de ces gaz est très favorable. On obtient donc un très bon rendement de l'échangeur à plaques.

De préférence, l'échangeur à plaques est réalisé sous forme modulaire et comporte une pluralité d'unités placées en parallèle destinées à recevoir chacune un débit élémentaire de fluide primaire et de fluide se-  
30 condaire.

Un des inconvénients d'un échangeur à plaques est qu'il ne supporte que de faibles différences de pression entre le fluide primaire et le fluide se-

conculaire. Dans le cas de l'utilisation d'un échangeur à plaques comme échangeur intermédiaire 7, la pression du fluide primaire à l'entrée et à la sortie de l'échangeur de chaleur, de même que la pression du fluide secondaire à l'entrée et à la sortie de l'échangeur de chaleur sont sensiblement égales entre elles, ces pressions étant par exemple l'une et l'autre voisines de 70 bars.

Toutefois, dans certaines phases de fonctionnement transitoires de l'installation, ou dans le cas d'un incident ou d'un accident, par exemple, une rupture de canalisation, il peut apparaître une différence de pression entre le circuit primaire en hélium et le circuit secondaire dans lequel circule le mélange hélium-azote.

Pour équilibrer les pressions dans la partie primaire et dans la partie secondaire de l'échangeur à plaques 7, lors de phases transitoires, on utilise une vanne d'équilibrage de pression 20 dont la chambre, à l'intérieur du corps de vanne 19, comporte deux parties séparées par des pistons dont l'une est reliée au circuit primaire et dont l'autre est reliée au circuit secondaire, au niveau de la canalisation d'arrivée de fluide secondaire dans l'échangeur intermédiaire.

Comme il est visible sur la figure 1, on peut prévoir une conduite 9' du circuit secondaire 9, en dérivation entre la conduite de retour de fluide secondaire vers l'échangeur intermédiaire et la conduite d'introduction de fluide secondaire dans l'échangeur de chaleur à contre-courant 16. Des vannes de réglage 27a et 27b sont placées sur la conduite en dérivation et sur la conduite d'introduction de fluide dans l'échangeur de chaleur à contre-courant 16, de manière à régler le débit passant dans la branche en dérivation 9' sur laquelle est placé un échangeur de chaleur 30 à température modérée dont la partie primaire reçoit le fluide secondaire prélevé par la conduite en dérivation 9'. Ce fluide secondaire est à une température de l'ordre de 200°C, ce qui permet d'élever la température d'un fluide tel que de l'eau circulant dans la partie secondaire 30a de l'échangeur de chaleur 30 à une température voisine de 200°C. On utilise ainsi une seconde partie de la chaleur contenue dans le second fluide d'échange dont une première partie

est utilisée à la sortie de la turbine à gaz dans le circuit tertiaire en eau et vapeur. L'échangeur de chaleur 30 peut être un échangeur à plaques.

L'eau à 200°C sous pression obtenue dans le circuit secondaire 30a de l'échangeur de chaleur 30 peut être utilisée par exemple pour alimenter un circuit de chauffage urbain ou pour fournir de la chaleur d'évaporation à une usine de dessalement d'eau de mer.

De ce fait, on utilise une partie de la chaleur résiduelle du fluide secondaire avant son retour à l'échangeur intermédiaire, par l'intermédiaire du compresseur 18. A l'entrée du compresseur 18, le fluide secondaire est à une température faible ; le compresseur assure une élévation de la température du fluide secondaire jusqu'à une température d'entrée dans l'échangeur de chaleur intermédiaire de l'ordre de 300°C.

Dans certains cas, on doit disposer d'un fluide à très haute température pour des besoins tels que la production d'hydrogène. On peut obtenir un tel fluide à très haute température en prélevant une partie du fluide secondaire à la sortie de l'échangeur de chaleur intermédiaire.

Pour augmenter le rendement de l'installation de production d'électricité, il est possible d'utiliser plusieurs turbines à gaz placées en série, de manière que chaque turbine située à la suite d'une turbine précédente reçoive le gaz provenant de la sortie de la turbine précédente, après réchauffage du gaz dans une partie de l'échangeur intermédiaire. Les parties tournantes des turbines successives peuvent être reliées à un même arbre d'entraînement d'une génératrice électrique. Le gaz utilisé à l'entrée de chacune des turbines à gaz successives présente donc une température sensiblement constante et égale par exemple à 800°C et une pression décroissante. Dans le cas d'un échangeur à plaques réalisé sous forme modulaire, on peut utiliser des modules ou ensembles de modules successifs pour réaliser le réchauffage des différentes fractions de gaz récupérées à la sortie des turbines à gaz et réintroduites dans une turbine suivante.

En outre, pour améliorer le fonctionnement de la partie tertiaire de l'installation comportant le circuit tertiaire 10 en eau et vapeur, le générateur de vapeur, les échangeurs de chaleur et les turbines à vapeur, on peut éle-



ver la pression de l'eau d'alimentation du générateur de vapeur dans le circuit tertiaire jusqu'à une valeur telle que l'eau soit en condition supercritique.

L'échangeur de chaleur 30 assurant l'échauffement d'eau pour une fonction annexe peut être avantageusement un échangeur à plaques mais  
5 toutefois cet échangeur peut être également un échangeur à tubes.

Sur la figure 2 on a représenté une installation suivant une variante de réalisation de l'invention. A part le fait que l'installation suivant la variante comporte deux réacteurs nucléaires à haute température 1a et 1b au lieu d'un seul réacteur nucléaire, elle est analogue à l'installation décrite en regard de la figure 2 et comporte un circuit secondaire 9 dans lequel circule un  
10 fluide d'échange constitué par un mélange d'hélium et d'azote, un circuit tertiaire en eau et vapeur 10, une turbine à gaz 2 et trois turbines à vapeur 3a, 3b, 3c ainsi qu'un échangeur de chaleur 30 à température modérée. De manière générale, les éléments correspondant sur la figure 1 et sur la figure 2  
15 sont désignés par les mêmes repères.

Les deux réacteurs nucléaires 1a et 1b peuvent être réalisés avantageusement de manière analogue et présenter des puissances égales. Chacun des réacteurs nucléaires du type à haute température comporte un circuit primaire 6a ou 6b dans lequel circule, lorsque le réacteur nucléaire est  
20 en fonctionnement, de l'hélium à une haute température, par exemple de l'ordre de 850°C, constituant le gaz caloporteur du réacteur. Sur chacun des deux circuits primaires 6a et 6b est placé un échangeur de chaleur intermédiaire 7a et 7b assurant un échange de chaleur entre l'hélium constituant le premier fluide d'échange de l'installation et le second fluide d'échange circulant dans le circuit secondaire 9. Pour cela, la partie primaire des échangeurs 7a et 7b est reliée au circuit primaire 6a ou 6b correspondant et la partie  
25 secondaire des échangeurs 7a et 7b au circuit secondaire par l'intermédiaire d'un embranchement respectif 9a ou 9b, relié à une conduite du circuit secondaire en aval du compresseur 18. La partie secondaire des échangeurs intermédiaires 7a et 7b est alimentée en un second fluide d'échange  
30 refroidi et sous une pression sensiblement égale à la pression de l'hélium dans les circuits primaires 6a et 6b des réacteurs nucléaires 1a et 1b. Le second fluide d'échange thermique est maintenu à une pression sensible-

ment égale à la pression de l'hélium des circuits primaires par des vannes d'équilibrage de pression respectives 20a et 20b analogues à la vanne 20 de l'installation représentée sur la figure 1, reliées chacune à la conduite du circuit secondaire alimentant les échangeurs intermédiaires et au circuit primaire correspondant.

Sur chacun des embranchements d'alimentation 9a et 9b d'un échangeur de chaleur intermédiaire en fluide d'échange secondaire est placée une vanne respective 21a et 21b de réglage ou d'arrêt de la circulation du second fluide d'échange dans l'échangeur intermédiaire correspondant. Le second fluide d'échange échauffé dans les échangeurs intermédiaires est utilisé pour entraîner la turbine à gaz 2.

Dans le cas où le premier et le second réacteurs nucléaires 1a et 1b sont en fonctionnement simultanément, les vannes 21a et 21b sont en position d'ouverture et le second fluide d'échange est échauffé par les deux réacteurs. Dans le cas où l'un des réacteurs nucléaires, par exemple le second réacteur 1b, est indisponible, par exemple en phase de rechargement d'entretien ou d'intervention pour réparation, la seconde vanne 21b est fermée et la première vanne 21a est ouverte. L'installation reste ainsi en fonctionnement et utilise la chaleur produite par le premier réacteur 1a resté en fonctionnement.

On évite ainsi d'avoir à effectuer l'arrêt de l'installation en prévoyant des phases d'arrêt des deux réacteurs espacées dans le temps.

Comme indiqué plus haut, un avantage important du procédé et du dispositif suivant l'invention est de permettre l'utilisation d'éléments classiques dans le cas des installations de production d'énergie, telles que des installations de production d'énergie électrique, par exemple des turbines à gaz fonctionnant avec un gaz ayant des caractéristiques thermodynamiques proches de l'air, des compresseurs à faibles taux de compression et des turbines à vapeur d'un type classique.

Le procédé et le dispositif suivant l'invention présentent également l'avantage d'utiliser un fluide secondaire renfermant une forte proportion d'hélium et qui présente de très bonnes caractéristiques d'échange thermique. En particulier, le rendement du générateur de vapeur et des échan-

geurs de chaleur du circuit tertiaire en eau est fortement amélioré. L'utilisation de turbines à vapeur permet une utilisation optimale de la chaleur produite par le réacteur nucléaire.

L'invention ne se limite pas au mode de réalisation qui a été décrit.

5 L'installation peut comporter un seul réacteur nucléaire ou au moins deux réacteurs qui peuvent être en fonctionnement de manière simultanée pour fournir de la chaleur à un fluide secondaire constitué d'hélium et d'azote; un ou plusieurs réacteurs nucléaires peuvent également être arrêtés, l'installation fonctionnant alors avec le ou les réacteurs restant en service.

10

On peut envisager également des utilisations annexes de la chaleur produite par le ou les réacteurs nucléaires et transférée au fluide secondaire, différentes de celles qui ont été décrites.

15 L'invention s'applique à l'utilisation de la chaleur produite par tout réacteur nucléaire à haute température, c'est-à-dire dont le cœur fonctionne à une température au moins égale à 800°C.

### REVENDEICATIONS

1.- Procédé de production d'électricité à partir de la chaleur produite dans le cœur (5) d'au moins un réacteur nucléaire (1) à haute température, consistant à faire circuler un premier gaz d'échange thermique ou gaz calo-  
porteur au contact du cœur (5) du réacteur nucléaire (1), en circuit fermé, à  
5 échauffer un second gaz d'échange thermique, par échange de chaleur avec le premier gaz d'échange thermique et à utiliser le second gaz d'échange thermique échauffé par le premier gaz d'échange thermique pour entraîner au moins une turbine à gaz (2) couplée à une génératrice électrique (4),  
10 caractérisé par le fait que le premier gaz d'échange est constitué principalement par de l'hélium, que le second gaz d'échange renferme en volume substantiellement de 50 % à 70 % d'hélium et de 50 % à 30 % d'azote, qu'on met en circulation le second gaz d'échange thermique en circuit fermé, de manière que le second gaz d'échange thermique échauffé par le premier  
15 gaz d'échange thermique assure l'entraînement de l'au moins une turbine à gaz (2), et qu'on récupère au moins une première partie de la chaleur du second gaz d'échange ayant traversé la turbine à gaz (2) pour assurer l'échauffement et la vaporisation d'eau, dans au moins un générateur de vapeur (12), de manière à produire de la vapeur pour entraîner au moins une  
20 turbine à vapeur (3a, 3b, 3c) couplée à la génératrice électrique (4).

2.- Procédé suivant la revendication 1, caractérisé par le fait qu'on récupère au moins une seconde partie de la chaleur du second fluide d'échange pour assurer un apport de chaleur à une installation annexe (30) telle qu'un système de chauffage urbain ou une usine de dessalement d'eau  
25 de mer.

3.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé par le fait qu'on récupère une fraction au moins de la chaleur du second gaz d'échange thermique échauffé par le premier fluide d'échange thermique, pour assurer, préalablement à l'entraînement de la turbine à gaz  
30 (2), une fonction telle que la production d'hydrogène demandant un fluide à très haute température.

4.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait qu'on échauffe le second gaz d'échange thermique par

échange de chaleur avec du gaz caloporteur de refroidissement d'au moins deux réacteurs nucléaires (1a, 1b) en fonctionnement de manière simultanée et avec du gaz caloporteur d'au moins un premier réacteur nucléaire (1a, 1b) parmi les au moins deux réacteurs nucléaires, lorsqu'au moins un  
5 second réacteur nucléaire (1a, 1b) est à l'arrêt.

5.- Dispositif de production d'électricité à partir de la chaleur produite dans le cœur (5) d'au moins un réacteur nucléaire (1) à haute température comportant un circuit primaire (6) dans lequel circule un premier gaz d'échange thermique de refroidissement du cœur (5) du réacteur, une tur-  
10 bine à gaz (2) couplée à un générateur électrique (4) par l'intermédiaire d'un arbre (11), et un circuit secondaire (9) de circulation d'un second gaz d'échange thermique sur lequel est intercalée la turbine à gaz (2), caractérisé par le fait qu'il comporte de plus au moins un échangeur de chaleur intermédiaire (7) ayant une partie primaire reliée au circuit primaire (6) du ré-  
15acteur nucléaire (1) et une partie secondaire reliée au circuit secondaire (9), assurant l'échauffement du second gaz d'échange à partir de la chaleur produite dans le cœur du réacteur par le premier gaz d'échange thermique, et un circuit tertiaire (10) de circulation d'eau et de vapeur sur lequel est dispo-  
20sé au moins un générateur de vapeur (12) et au moins une turbine à vapeur (3a), l'échangeur intermédiaire (7) et la turbine à gaz (2) ayant des caractéristiques adaptées à l'utilisation d'hélium comme premier gaz d'échange thermique et d'un mélange d'hélium et d'azote comme second gaz d'échange thermique, et le générateur de vapeur (12) comportant une partie  
25secondaire intercalée sur le circuit tertiaire (10) d'eau et de vapeur pour recevoir de l'eau à l'entrée et pour fournir en sortie de la vapeur à la turbine à vapeur (3a) et une partie primaire intercalée sur le circuit secondaire (9) pour recevoir du second gaz d'échange, après sa sortie de la turbine à gaz (2).

6.- Dispositif suivant la revendication 5, caractérisé par le fait que le circuit tertiaire (10) comporte de plus un premier échangeur réchauffeur  
30(13a) dont la partie secondaire est reliée à la sortie de la première turbine à vapeur (3a) constituant une turbine à haute pression pour recevoir une vapeur humide et dont la partie de sortie est reliée à une seconde turbine à vapeur (3b) ou turbine moyenne pression, un second échangeur réchauffeur

(13b) ayant une partie secondaire reliée, par une entrée, à la sortie de la seconde turbine (3b) à moyenne pression pour recevoir une vapeur humide et, en sortie, à une partie d'entrée d'une troisième turbine à vapeur (3c) ou turbine basse pression dont la partie de sortie est reliée au circuit (10) sur lequel est placé un condenseur (15), chacun du premier et du second échangeurs de chaleur réchauffeurs (13a, 13b) ayant une partie primaire alimentée en second gaz d'échange à partir de dérivations du circuit secondaire (9), pour réchauffer et sécher la vapeur humide introduite à l'entrée de la partie secondaire de l'échangeur de chaleur réchauffeur et le circuit tertiaire (10) étant un circuit fermé permettant de renvoyer l'eau récupérée dans le condenseur (15) à l'entrée de la partie secondaire du générateur de vapeur (12).

7.- Dispositif suivant la revendication 6, caractérisé par le fait qu'un échangeur de chaleur à contre-courant (16) est disposé sur une partie du circuit tertiaire (10) assurant un retour de l'eau condensée à l'entrée de la partie secondaire du générateur de vapeur (12), de manière qu'une partie secondaire de l'échangeur de chaleur (16) reçoive, en entrée, de l'eau provenant du condenseur (15) pour fournir, en sortie, de l'eau réchauffée au générateur de vapeur (12), et une partie primaire dans laquelle circule le second gaz d'échange thermique récupéré à la sortie de la partie primaire du générateur de vapeur (12) et des échangeurs réchauffeurs (13a, 13b).

8.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé par le fait que l'échangeur de chaleur intermédiaire (7) est un échangeur à plaques.

9.- Dispositif suivant la revendication 8, caractérisé par le fait que le circuit secondaire (9) est entièrement fermé et comporte un compresseur (18) pour recomprimer le second gaz d'échange jusqu'à une pression sensiblement égale à la pression du premier gaz d'échange thermique dans le circuit primaire (6) du réacteur nucléaire (1), avant sa réintroduction à l'entrée de la partie secondaire de l'échangeur intermédiaire (7).

10.- Dispositif suivant la revendication 9, caractérisé par le fait qu'il comporte de plus au moins une vanne (20) d'équilibrage de pression reliée, d'une part, au circuit primaire (6) du réacteur nucléaire (1) et, d'autre part, à

une conduite du circuit secondaire (9) assurant la liaison entre la sortie du compresseur (18) et l'entrée de la partie secondaire de l'au moins un échangeur de chaleur (7), de manière que la pression du premier fluide d'échange thermique dans le circuit primaire (6) du réacteur nucléaire (1) et la pression dans la partie secondaire de l'au moins un échangeur de chaleur intermédiaire (7) restent constamment sensiblement égales entre elles.

11.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 5 à 10, caractérisé par le fait qu'il comporte de plus un échangeur de chaleur à température modérée (30) ayant une partie primaire reliée au circuit secondaire (9) pour la circulation dans l'échangeur de chaleur à température modérée (30) du second fluide d'échange et une partie secondaire dans laquelle circule un liquide tel que de l'eau utilisé dans une installation annexe telle qu'un circuit de chauffage urbain ou une usine de dessalement d'eau de mer.

12.- Dispositif suivant la revendication 11, caractérisé par le fait que l'échangeur de chaleur à température modérée (30) est disposé sur une conduite en dérivation par rapport à une partie du circuit secondaire (9) et que sur la conduite en dérivation et sur la partie du circuit secondaire sur laquelle est placée la conduite en dérivation sont disposées des vannes de réglage (27a, 27b) pour régler le débit du second fluide d'échange, dans la partie du circuit secondaire et dans la conduite en dérivation.

13.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 5 à 12, caractérisé par le fait qu'il comporte au moins deux réacteurs nucléaires (1a, 1b) ayant chacun un circuit primaire (6a, 6b) dans lequel circule un gaz caloporteur et au moins deux échangeurs de chaleur intermédiaires (7a, 7b) ayant chacun une partie primaire disposée sur un circuit primaire respectif (6a, 6b) d'un réacteur nucléaire (1a, 1b) pour recevoir le gaz caloporteur du réacteur nucléaire (1a, 1b) et une partie secondaire disposée sur un embranchement respectif (9a, 9b) d'un circuit secondaire pour recevoir le second fluide d'échange thermique, une vanne d'arrêt (21a, 21b) étant disposée sur chacun des embranchements (9a, 9b).

14.- Dispositif suivant la revendication 13, caractérisé par le fait qu'une vanne d'équilibrage de pression (20a, 20b) est reliée à chacun des

embranchements (9a, 9b) du circuit secondaire et à chacun des circuits primaires (6a, 6b) des réacteurs nucléaires pour maintenir une pression du second gaz d'échange dans la partie secondaire d'un échangeur de chaleur (7a, 7b) respectif sensiblement égale à une pression du gaz caloporteur dans la partie primaire de l'échangeur de chaleur (7a, 7b).



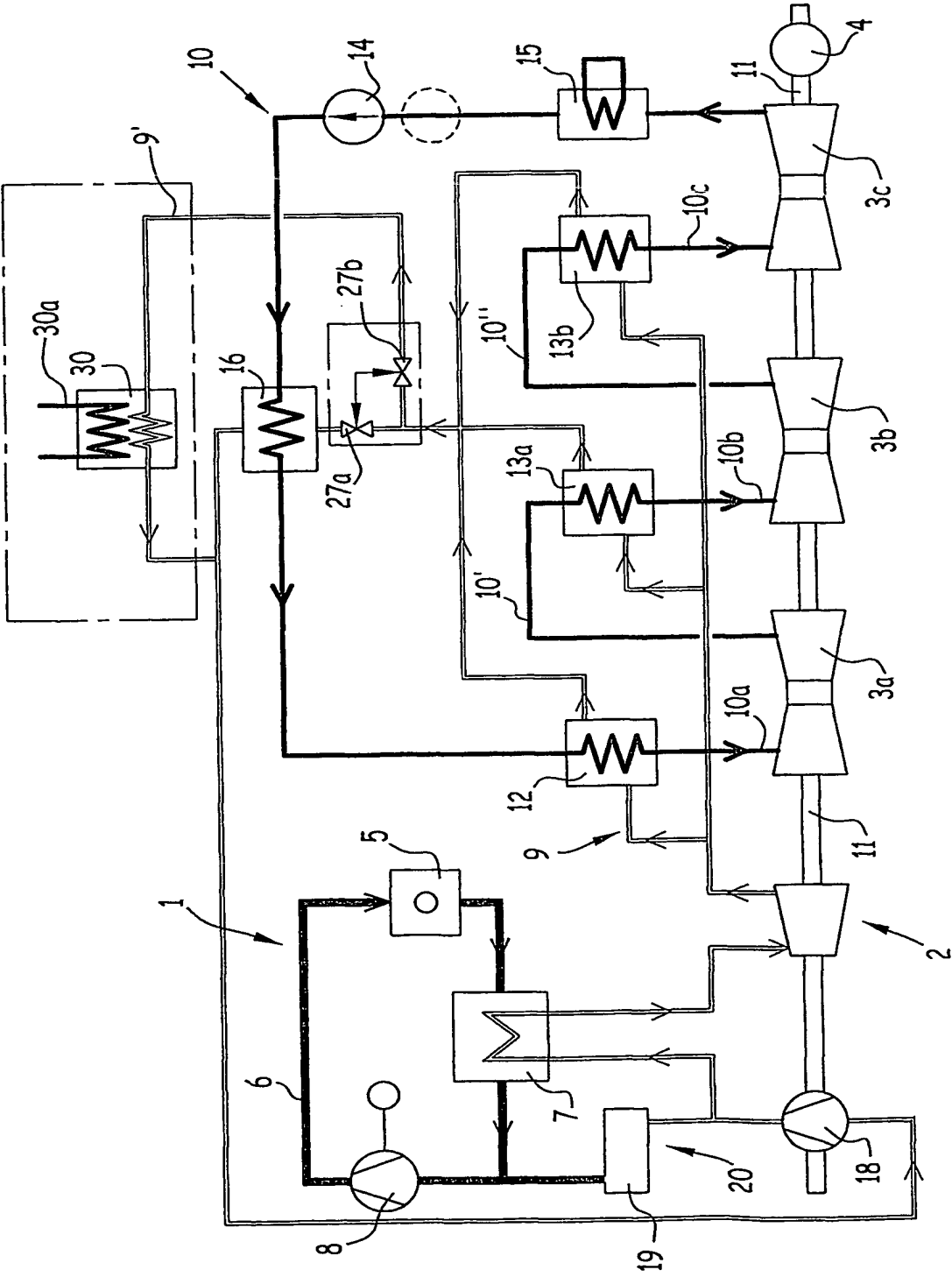


FIG.1

2/2

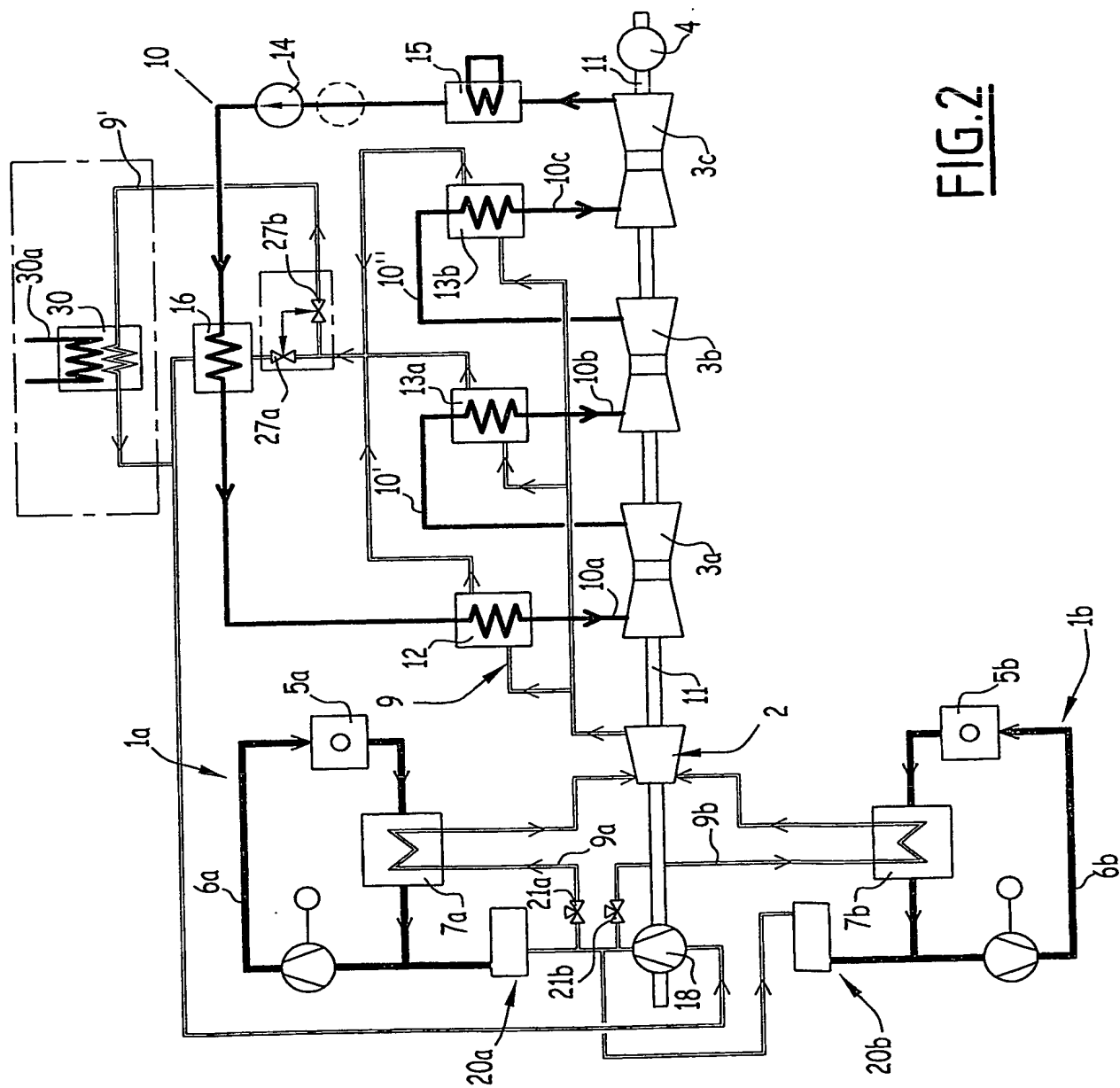


FIG.2



TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

**(88) Date de publication du rapport de recherche internationale:**

8 avril 2004

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

---

**(57) Abrégé :** On fait circuler un premier gaz caloporteur au contact du cœur (5) du réacteur nucléaire (1) à haute température, en circuit fermé, on chauffe un second gaz d'échange thermique par échange de chaleur avec le premier gaz d'échange ou gaz caloporteur et on utilise le second gaz d'échange thermique chauffé par le premier gaz caloporteur dans un échangeur intermédiaire (7), pour entraîner au moins une turbine à gaz (2) couplée une génératrice électrique (4). Le premier gaz d'échange est constitué principalement par de l'hélium et le second gaz d'échange renferme en volume substantiellement de 50 % à 70 % d'hélium et de 50 % à 30 % d'azote. On met en circulation le second gaz d'échange thermique en circuit fermé, de manière que le second gaz d'échange thermique assure au moins l'entraînement de l'au moins une turbine à gaz (2). De préférence, le dispositif comporte également un circuit tertiaire (10) dans lequel circule de l'eau et de la vapeur formée par échauffement d'eau à partir d'une fraction du second fluide d'échange et utilisée pour entraîner des turbines à vapeur (3a, 3b, 3c) montées, de préférence, sur l'arbre de la génératrice électrique (4).

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Application No  
PCT/FR 03/01091

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G21D5/08 G21D9/00 G21D5/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G21D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	GB 2 050 679 A (MASCHF AUGSBURG NUERNBERG AG) 7 January 1981 (1981-01-07) page 1, line 3-8 page 2, column 48-55 page 3, line 15-57; figures 1,3 ---	1-3,5,11
Y	US 3 218 802 A (SAWLE DAVID R) 23 November 1965 (1965-11-23) column 1, line 9-11 column 1, line 53-62 column 2, line 52 -column 3, line 7; figures 1,4; table 1 ---	1-3,5,11
A	US 4 045 285 A (BAUMGAERTNER HEINRICH ET AL) 30 August 1977 (1977-08-30) column 1, line 8-15 column 5, line 56 -column 6, line 32 column 7, line 50-58; figures 1,2 -----	1-3,5



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 September 2003

Date of mailing of the international search report

14/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jandl, F

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

ti

plication No

PCT/FR 03/01091

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2050679	A	07-01-1981	DE 2918597 A1	13-11-1980
			FR 2456370 A1	05-12-1980
			JP 55152499 A	27-11-1980
US 3218802	A	23-11-1965	NONE	
US 4045285	A	30-08-1977	DE 2455508 A1	26-05-1976
			FR 2292315 A1	18-06-1976
			GB 1503367 A	08-03-1978
			JP 51074195 A	26-06-1976

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 03/01091

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**

CIB 7 G21D5/08 G21D9/00 G21D5/12

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G21D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EP0-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	GB 2 050 679 A (MASCHF AUGSBURG NUERNBERG AG) 7 janvier 1981 (1981-01-07) page 1, ligne 3-8 page 2, colonne 48-55 page 3, ligne 15-57; figures 1,3 ---	1-3,5,11
Y	US 3 218 802 A (SAWLE DAVID R) 23 novembre 1965 (1965-11-23) colonne 1, ligne 9-11 colonne 1, ligne 53-62 colonne 2, ligne 52 -colonne 3, ligne 7; figures 1,4; tableau 1 ---	1-3,5,11
A	US 4 045 285 A (BAUMGAERTNER HEINRICH ET AL) 30 août 1977 (1977-08-30) colonne 1, ligne 8-15 colonne 5, ligne 56 -colonne 6, ligne 32 colonne 7, ligne 50-58; figures 1,2 -----	1-3,5



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

**\* Catégories spéciales de documents cités:**

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

29 septembre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

14/10/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tél. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Jandl, F

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 03/01091

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2050679	A	07-01-1981	DE 2918597 A1	13-11-1980
			FR 2456370 A1	05-12-1980
			JP 55152499 A	27-11-1980
US 3218802	A	23-11-1965	AUCUN	
US 4045285	A	30-08-1977	DE 2455508 A1	26-05-1976
			FR 2292315 A1	18-06-1976
			GB 1503367 A	08-03-1978
			JP 51074195 A	26-06-1976